

[22024]

## アンデス弧および西南日本弧の火山岩の スラブ由来成分の検討

### Study on the slab-derived component of the volcanic rocks in the Andean arc and the southwest Japan arc

新正裕尚<sup>A)</sup>, 折橋裕二<sup>B)</sup>

Hironao Shinjoe<sup>A)</sup>, Yuji Orihashi<sup>B)</sup>

<sup>A)</sup> Center for General Education, Tokyo Keizai University

<sup>B)</sup> Graduate School of Earth and Environmental Sciences, Hirosaki University

#### Abstract

We carried out prompt gamma analysis (PGA) for volcanic rocks of the Southern Volcanic Zone of the Andean arc in Chile and Miocene Setouchi Volcanic Zones in the southwest Japan arc to obtain boron and chlorine contents using the thermal neutron beamline attached to the JRR-3. Since boron is the element that is abundant in the materials composing the subducting slab, it is usually used as the tracer of the slab-derived component in the arc magma. In this report, we summarize the results of our analysis and future implications for the tectonic setting of magmatism in those arcs.

**Keyword:** arc magmatism, boron, PGA, slab-derived component

#### 1. はじめに

沈み込み帯は中央海嶺, ホットスポットとともに地球上で主要なマグマ生産場である。沈み込み帯におけるマグマ成因を考える上で, マントルウェッジに付加したスラブ由来の物質の評価は重要な論点である。スラブ由来の物質の付加プロセスは沈み込み帯の物理的条件により多様である。たとえば沈み込むスラブの年齢による温度構造の差異は大きな影響を与える。

ホウ素はマントルかんらん岩中の濃度が極めて低く, 沈み込むプレート上の海洋堆積物や変成玄武岩などには豊富に含まれ, さらに流体相で移動しやすい元素であるため, スラブ由来成分を検出するトレーサーに適している。たとえば, 日本の島弧火山岩の研究では, 東北日本弧のフロント上の火山において, 沈み込んだ堆積物と変成玄武岩からの流体の寄与が詳細に評価されている[1]。

2021 年度の JRR-3 の運転再開以来, 継続して南米アンデス弧の第四紀火山岩および西南日本弧の新第三紀火成岩の即発ガンマ線分析によるホウ素含有量の測定を実施してきた。これらの地域は拡大直後の若い海洋プレートの沈み込みが見られる場所での島弧火成活動という点で共通性がある。22 年度の分析から得られた結果について以下に簡潔に報告する。また, 比較のために東北日本弧等での特徴的な島弧火山岩についても合わせて分析を行なっている。それらについては本報告書の末尾に簡潔に説明する。

#### 2. 南米チリ弧および中新世西南日本弧の火山岩分析

##### 2.1 南米チリ弧の南部火山地域 (Southern Volcanic Zone) の第四紀火山

南米大陸西海岸の約 7500 km にもおよぶ沈み込み

帯に沿って火山弧が形成されており, 200 以上の第四紀火山が分布する[2]。そのうちのいくつかは現在も噴火中であり活発な火山活動が見られる。火山弧は沈み込むスラブの傾角が小さい領域や海嶺衝突域に対応する volcanic gap で分断され, 北より Northern Volcanic Zone, Central Volcanic Zone, Southern Volcanic Zone, Austral Volcanic Zone に区分されるが, 本研究は, 南緯 33.3 度から 46 度まで 1400 km にわたり分布する, 南部火山地域 (Southern Volcanic Zone, 以下 SVZ) の火山岩を対象にして行なっている。SVZ の南限はチリ海溝の衝突地域に当たる Patagonian volcanic gap である。したがって SVZ に沈み込む海洋プレート年齢は 0 Ma に近いものから北部では 45 Ma と推移し, 北に向かうほどより古く, 冷却の進んだ海洋プレートが沈み込むことになる。したがって島弧伸長方向にスラブ由来成分が変化する可能性があり, ホウ素をトレーサーとした研究に好適なフィールドである。

この観点から Shinjoe et al. (2013)[3]は SVZ の島弧伸長方向に第四紀フロント火山試料について JRR-3 の即発ガンマ線分析によって求めたホウ素含有量に基づいて, スラブ由来成分の評価を行なった。そしてプレート年齢の若い南部 SVZ から古い中部 SVZ にかけて B/Nb 値が増大し, 前者はスラブ由来メルト, 後者はスラブ由来流体の寄与があることを論じた。この研究では大まかな傾向は得られたが, 個別の火山については一つあるいは少数の試料のデータに基づいており, 大型の複式火山などにおける組成のばらつきなどは不明であった。

そこで JRR-3 の再稼働後に再開した即発ガンマ線分析では, 中部~南部 SVZ について個別の領域の火山群や個別の複式火山に着目した分析を行なっている。2022 年度に行なった分析の例として, 南部 SVZ の大型の複式火山である Michinmahuida (42.8 °S) に関する分析結果の例を述べる。

[22024]

Michinmahuida 山は南部 SVZ の北部に位置し主に玄武岩—安山岩からなる成層火山である。山岳氷河を持ちアクセスが困難であることもあり、既報の地球化学的データに乏しかったが、折橋らによりヘリコプターも活用した地質調査で系統的に採取された試料について記載岩石学的な研究が行われた[4]。その結果、Michinmahuida 火山の岩石は全体としてソレライト系列のトレンドを示すが、 $\text{FeO}^*$  (全鉄)/ $\text{MgO}$  値の増加に対して、鉄が増加するトレンド (HIT) と減少するトレンド (LIT) を持つ試料が見出された。即発ガンマ線分析は両トレンドの試料を包括するように選別して実施した。

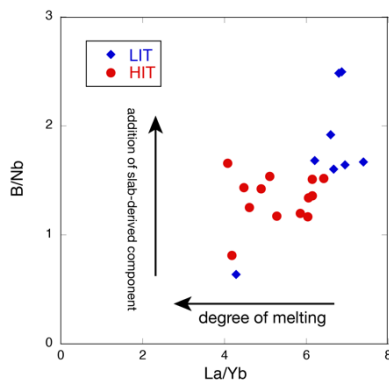


Figure 1 B/Nb vs. La/Yb plot of the volcanic rocks of the Michinmahuida.

Fig.1 に試料の B/Nb と La/Yb 値のプロットを示す。鉄に乏しい系列の岩石の方がやや部分融解度が小さく、スラブ由来成分に富む傾向が見られる。

今回の分析を Shinjoe et al. (2013) の SVZ の火山岩と合わせてプロットしたものを Fig. 2 に示す。

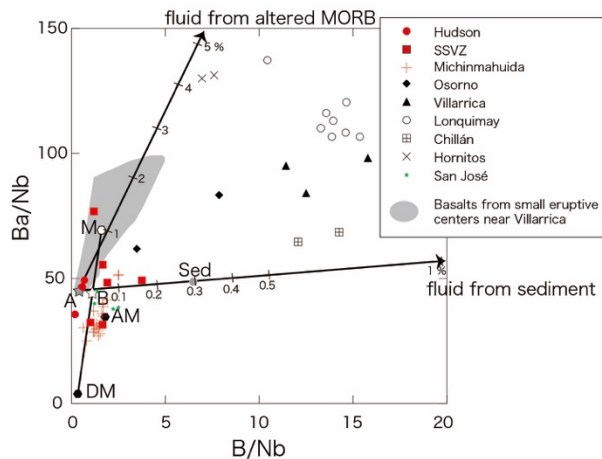


Figure 2 Ba/Nb vs. B/Nb plot of the volcanic rocks of the Michinmahuida and SVZ (modified from Shinjoe et al., 2013). A: mantle composition beneath CVZ before the addition of slab-derived fluid composition estimated from the basalt of the small eruptive centers with least-enriched LILE composition. DM: depleted mantle. M: sediment melt. B: mantle composition after adding 3 % sediment melt to DM. AM: altered MORB, Sed: sediment.

Fig.1 で示したように、今回測定した Michinmahuida 火山のホウ素量や B/Nb 値にはある程度のバリエーションが見られたが、Fig.2 に見られるように、あくまで南部 SVZ の火山岩の組成範囲での変化であり、Shinjoe et al. (2013) の南部 SVZ のフロント火山のスラブ由来成分が堆積物由来メルトが主であるという結論を変更するものではないと考える。

## 2.2 新第三紀西南日本弧の瀬戸内火山岩類

2500 万年前ごろから 1600 万年前ごろに起こった日本海拡大に伴い、西南日本は時計回り回転をしてユーラシア大陸から分離した。高速の時計回り回転の終了時期は議論があったが、近年の古地磁気研究によると 1600 万年前ごろに終了したものと見られる[5]。回転終了直後に拡大終焉期の四国海盆が沈み込み、西南日本の海溝寄り地域で広域的に火成活動が起こった。西南日本の外帯域では 1560 万年前ごろに開始した珪長質のマグマ活動が九州から紀伊半島の広い範囲で見られる。中央構造線沿いには瀬戸内火山岩類が分布し、マンテルかんらん岩と平衡共存できる高 Mg 安山岩の産出が古くから注目されている。高 Mg 安山岩と時空的に伴って玄武岩が産出するのも特徴的である。瀬戸内火山岩類の分布域は古典的には東は三河地域の設楽から西は九州東部の大野までとされるが、設楽地域には瀬戸内火山岩類を特徴付ける高 Mg 安山岩が産出しないのでその位置付けは再検討が必要である。またその活動時期については、1300 万年から 1400 万年ごろとまとめられることが多かったが、近年の U-Pb 法を中心とした検討では 1400 万年から 1500 万年ごろの活動が中心と見られ、外帯域の珪長質マグマ活動とほぼ同時期とみなされる。

瀬戸内火山岩類を特徴付ける高 Mg 安山岩の全岩化学組成の分析はごく一部の地域についてのみ集中して行われており、島弧横断方向の組成差を検討することすらできない。そこで、紀伊半島から九州に至る地域から広域的に高 Mg 安山岩と玄武岩試料を採取しその全岩組成の分析を進めている。その分析の一環として即発ガンマ線分析によるホウ素含有量の分析を継続的に実施している。

分析結果の例を Fig.3 に示す。これまでの共同研究で分析した結果に 22 年度に新規に分析した瀬戸内海東部の島嶼部の試料についてのデータを加えて作成した。また南部アンデス弧 SVZ をはじめとする他地域のデータも比較のためにプロットしている。アンデス弧の南部 SVZ、北米カスケード弧、九州の第四紀火山の中で四国海盆の沈み込みによるものなど、若いプレート沈み込みの見られる地域の火山岩は全般に低い B/Nb 値で特徴づけられ、一方東北日本弧やアンデス弧の中部 SVZ など沈み込むプレート年齢が若くない場所においては、B/Nb 値が高く、流体によるスラブ由来成分のマンテルへの添加が示唆される。一方瀬戸内火山岩類の高 Mg 安山岩は極めて分散が大きく B/Nb 値では 2-13 と大きな幅を持つ。玄武岩は高 Mg 安山岩より一般にホウ素に乏しいが B/Nb 値ではかなりばらつきが見られる。今後、これ

[22024]

らの分散の原因を考察してゆきたい。

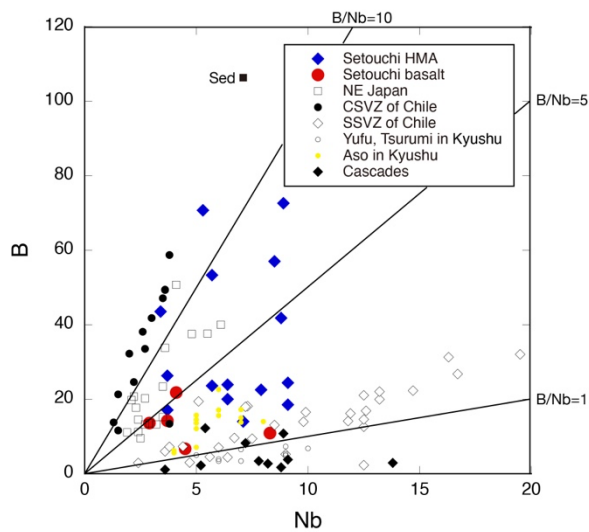


Figure 3 Boron vs. niobium plot of the high-Mg andesites and basalts in the Setouchi Volcanic Zone. Data from arc volcanic rocks of NE Japan (Sano et al., 2001 [1]), Southern Volcanic Zone in Chile (Shinjoe et al., 2013 [3] and this study), Kyushu (Miyoshi et al., 2008 [6]), and Washington Cascades in the western USA (Leeman et al., 2004 [7]) are plotted for comparison. Sed: average of Japan trench sediment (Sano et al., 2001 [1]).

### 2.3 その他 2022 年度に実施した即発ガンマ線分析

上記の試料に加えて東北日本弧第四紀火山岩のなかで恐山火山の試料についても即発ガンマ線分析によるホウ素含有量分析を行なった。恐山火山は東北日本弧の第四紀フロント火山の中でも最も海溝寄りに分布する火山を繋いだ青麻-恐火山列に属する。青麻-恐火山列の火山は脊梁地域のフロント火山の岩石より同  $\text{SiO}_2$  量の岩石と比較して  $\text{K}_2\text{O}$  量に乏しく安山岩の斑晶に角閃石が晶出することで知られる [8]。スラブからの流体の付加の影響に敏感なホウ素をトレーサーとすることでアンデス弧 SVZ との比較を通じて島弧火山の多様性を見る観点で分析を進めている。

## 3. おわりに

本共同研究は 2022 年度より 3 ヶ年計画で申請しており、最後に今後の計画について説明する。アンデス弧 Southern Volcanic Zone の第四紀火山岩類については、今回 Michinmahuida 火山について実施したように、個別火山の全岩組成にバリエーションの見られるものについて、スラブ流体の寄与の評価の指標としてのホウ素含有量分析を継続して行なってゆく。西南日本弧の中新世火成岩類については、高 Mg 安山岩や玄武岩類を含む瀬戸内火山岩類のホウ素含有量分析を継続して行ない面的な広がりを持ったデータを得ることで、沈み込んだ四国海盆スラブの温度構造等のバリエーションを見出すことを目指している。また従来瀬戸内火山岩類の東縁に位置付けられ

ていた中部地方の苦鉄質火山岩については全岩化学組成データの報告が少なく、マグマ生成のテクトニックセッティングの議論に耐えるものではなかった。他の主成分元素、微量元素組成データに加えてホウ素含有量の分析も行い、マグマ生成場についての将来的な研究に繋げることのできる基礎的なデータを蓄積して行く予定である。

## 参考文献

- [1] Sano T. et al. (2001) Earth Planet. Sci. Lett. 186, 187–198.
- [2] Stern, C.R. (2004) Revista Geológica de Chile, 31, 161–206.
- [3] Shinjoe, H. et al. (2013) Geochemical Journal, 47, 185–199.
- [4] 佐藤匠 (2021) 弘前大学卒業論文 (手稿) .
- [5] 星博幸 (2018) 地質学雑誌, 124, 675–691.
- [6] Miyoshi, M. et al. (2008) J. Volcanol. Geotherm. Res., 171, 73–87.
- [7] Leeman, W.P. et al., (2004) Chem. Geol., 212, 101–124.
- [8] 中川光弘ほか (1986) 岩鉱, 81, 471–478.